

DOCKET NO.: 217470US6PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Olivier RAYSSAC et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR00/02014

INTERNATIONAL FILING DATE: July 12, 2000

FOR: PROCESS FOR SEPARATION OF TWO ELEMENTS AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

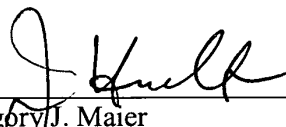
Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
France	99 09007	12 July 1999

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/FR00/02014. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Gregory J. Maier
Attorney of Record
Registration No. 25,599
Surinder Sachar
Registration No. 34,423

James D. Hamilton
Registration No. 28,421



22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 1/97)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



ES4

REC'D 23 AUG 2000

WIPO PCT

PCT/FR 00/02014

BREVET D'INVENTION

FR00/2014

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 29 JUIN 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

DOCUMENT DE PRIORITÉ
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30

THIS PAGE BLANK (uspto)

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

99.09007 du 12.07.1999

DEPARTEMENT DES BREVETS

B 13319.3/EW

26bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

TITRE DE L'INVENTION :

**PROCEDE DE DECOLLEMENT DE DEUX ELEMENTS ET DISPOSITIF POUR
SA MISE EN OEUVRE.**

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

**E. WEBER
c/o BREVATOME
3 rue du Docteur Lancereaux
75008 PARIS**

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

RAYSSAC Olivier

**10, rue du Vercors
38000 GRENOBLE**

MORICEAU Hubert

**26, rue du Fournet
38120 SAINT-EGREVE**

ASPAR Bernard

**110, Lot Le Hameau des Ayes
38140 RIVES**

MONTMAYEUL Philippe

**Lotissement Le Château
Cidex 19.1
38190 BERNIN**

FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 26 Juillet 1999

**E. WEBER
422/5-S002**



**PROCEDE DE DECOLLEMENT DE DEUX ELEMENTS ET DISPOSITIF
POUR SA MISE EN OEUVRE**

Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé de décollement de deux éléments adhérent l'un à l'autre selon des faces d'adhérence, le décollement pouvant être obtenu sous l'action d'un fluide et/ou d'un élément mécanique permettant d'amorcer localement le décollement. Elle concerne aussi un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

10

L'invention s'applique en particulier au domaine de la micro-électronique afin de décoller deux plaquettes adhérent l'une à l'autre. Elle est d'un intérêt tout particulier dans la manipulation de plaques minces, fragiles et très flexibles.

15

Etat de la technique antérieure

20

Le document FR-A-2 752 332 divulgue un procédé de séparation d'une plaquette de support par insertion, à l'interface de collage d'un élément séparateur assez flexible pour ne pas rayer les surfaces. Cet élément séparateur est composé de plusieurs parties permettant une visée minimale, lors de l'opération d'ouverture de l'interface, pour être compatible avec un objectif industriel. Ce procédé a été développé dans le cadre de plaques collées par l'intermédiaire de forces d'attraction.

25

30

L'article intitulé "Bonding of silicon wafers for silicon-on-insulator" de W.P. MASZARA et al. paru dans la revue J. Appl. Phys. 64 (10), 15 novembre 1988, pages 4943-4950, concerne la mesure d'énergie de collage par la méthode de la lame insérée à l'interface

35

de deux éléments adhérant l'un à l'autre. Pour une même énergie de collage, plus la lame est épaisse, plus l'onde d'ouverture se propage loin par rapport au point d'ouverture à l'interface de collage. De même, plus
5 l'énergie de collage est forte, moins l'onde de décollement se propage pour une même épaisseur de lame.

Pour appliquer un procédé de séparation tel que décrit dans le document FR-A-2 752 332, il est avantageux que l'énergie de surface soit faible et que
10 l'élément séparateur soit épais. Ainsi, une onde de décollement peut se propager sur une longueur significative par rapport au diamètre de plaques à séparer.

Cependant, l'usage d'un élément séparateur
15 épais peut conduire à une fracture de l'une des plaques du fait d'un rayon de courbure trop faible. De plus, il a été démontré que plus l'énergie de collage est importante, plus il faut insérer doucement la lame ou l'élément séparateur au niveau de l'interface pour
20 éviter le risque de fracture des plaques, la relaxation des contraintes d'ouverture étant rendue possible par une ouverture suffisamment lente.

Par ailleurs, dans le cas d'une structure comportant plusieurs interfaces, l'ouverture peut se
25 propager d'une interface vers une autre, associée, par exemple, à une énergie de collage plus faible.

Il est connu également que l'énergie de collage entre deux éléments augmente lorsqu'un traitement thermique est appliqué. On peut se référer à
30 ce sujet à l'article de C. MALEVILLE et al., paru dans la revue Electrochemical Society Proceedings Volume 97-36, pages 46-55. A titre d'exemple, des plaques de silicium dont les surfaces ont été rendues hydrophiles sont collées l'une à l'autre. Une énergie de collage
35 supérieure à 1 J/m^2 est obtenue pour des collages

suivis d'un traitement thermique à 1000°C. Ainsi, pour des plaques de silicium de 525 µm d'épaisseur (épaisseur typique de plaques de 100 mm de diamètre), une lame de 600 µm d'épaisseur parvient à provoquer une ouverture de l'interface de collage sur une longueur de l'ordre de 3 cm ou moins. Cette longueur d'ouverture est insuffisante pour assurer la séparation des plaques. Il est alors nécessaire d'introduire un séparateur plus épais pour propager cette ouverture. Cela entraîne une diminution de la flexibilité des éléments séparateurs et comporte les risques cités précédemment.

L'insertion d'une lame n'est pas la seule méthode permettant de désolidariser deux éléments collés l'un à l'autre pour constituer une structure. Le document WO 98/52 216 décrit un procédé de clivage contrôlé d'un substrat par introduction de particules, provenant par exemple d'une source de vapeur d'eau, à partir d'une face de la structure où l'interface aboutit. Cependant, cette technique ne peut être utilisée que pour cliver des empilements dans lesquels une zone a été au préalable fragilisée, par exemple par implantation ionique. L'interface de décollement ne peut alors correspondre qu'à la zone fragilisée. Le brevet américain N° 5 863 375 divulgue le décollement de deux plaques collées l'une à l'autre pour constituer une structure. Le décollement est obtenu sous l'effet d'un jet de liquide dirigé selon le plan de l'interface vers une face de la structure où aboutit l'interface.

D'autre part, les faces des plaques à décoller peuvent avoir reçu, avant leur collage, un ou plusieurs dépôts de films minces. Dans ce cas, il n'est pas possible d'utiliser l'enseignement du brevet US 5 863 375. En effet, le jet de liquide de décollement agit aussi sur les films déposés. Comme il

n'y a pas de localisation précise de l'interface de collage, le décollement peut se produire au niveau de l'une des couches déposées si l'énergie d'adhérence d'un film sur sa plaque est inférieure à l'énergie d'adhérence de l'interface de collage entre les deux plaques. Cette technique est de plus très coûteuse au niveau de la consommation du fluide utilisé, une grande quantité de ce fluide n'agissant pas sur l'interface de collage.

Ces techniques connues de décollement au moyen d'un jet de particules ou d'un jet de liquide remplaçant une lame séparatrice révèlent d'autres problèmes. Un premier problème tient à la localisation précise de l'interface d'ouverture. D'autres problèmes sont liés au fait que pour appliquer aisément les techniques d'ouverture il faut que l'interface de collage ne soit pas trop résistante en tenant compte des divers traitements thermiques qui peuvent être pratiqués..

De façon classique, on peut contrôler l'énergie de collage par une préparation des surfaces tendant à modifier leur caractère hydrophile ou leur rugosité. A ce sujet, on peut se reporter, par exemple, au document "influence of surface characteristics on direct wafer bonding" de O. Rayssac et coll., 2^{ème} conférence internationale des matériaux pour la microélectronique 14/15 septembre 1998, ION Communications Ltd.

Le document EP-A-0 703 609 divulgue un procédé de transfert d'une couche mince semi-conductrice d'un substrat support sur un substrat cible en utilisant le fait que l'énergie de collage entre la couche et le substrat support est inférieure à l'énergie de collage entre la couche et le substrat cible. Lorsqu'une force d'arrachement et/ou de

cisaillement et/ou torsion est appliquée à la structure, le décollement se fait entre la couche et le substrat support, entraînant ainsi le transfert de la couche.

5 Ce procédé doit, comme précédemment, tenir compte du problème éventuel de résistance de l'interface de collage. De plus, la couche mince est collée sur le substrat support afin de subir un certain nombre de traitements dont, par exemple, un ou
10 plusieurs dépôts de films minces dont l'énergie d'adhérence peut se révéler plus faible que l'énergie de collage des substrats entre eux. En particulier, des méthodes de séparation basées sur une traction ou un cisaillement ou une torsion, appliquées globalement aux
15 substrats ne peuvent pas être utilisées.

Exposé de l'invention

L'invention a été conçue pour remédier aux
20 inconvénients rapportés ci-dessus.

A cet effet, l'invention concerne plus précisément un procédé de décollement de deux éléments d'une structure mis en contact adhérent l'un à l'autre par des faces d'adhérence respectives, le procédé
25 comportant, avant la mise en contact adhérent, la réalisation dans au moins une zone, dite zone d'interface, d'au moins une cavité, la cavité étant pratiquée dans au moins un des éléments et débouchant respectivement sur la face d'adhérence de l'autre des
30 éléments lorsque les éléments sont assemblés, de façon à permettre le passage dans la cavité de moyens de séparation, le procédé comportant en outre lors du décollement une étape d'application d'une force, de façon localisée dans ladite zone d'interface, par la
35 mise en contact, dans la zone d'interface, de l'une

et/ou l'autre desdites faces d'adhérence avec lesdits moyens de séparation pour amorcer le décollement des deux éléments dans la zone d'interface et pour le poursuivre, éventuellement, jusqu'à la séparation
5 complète des deux éléments.

Les moyens de séparation peuvent comprendre, entre autres, des moyens exerçant une action mécanique et/ou une pression de fluide et/ou exerçant une action chimique sur au moins l'une des
10 faces d'adhérence dans la zone d'interface.

Ainsi, la force appliquée dans la zone d'interface doit être comprise comme résultant d'une action mécanique et/ou d'une pression de fluide et/ou d'une action chimique.

Les cavités peuvent être obtenues par gravure. Elles peuvent être réalisées à la périphérie ou dans une région plus centrale des éléments. En particulier elles peuvent être réparties sur tout ou partie d'une interface d'adhérence entre les éléments,
15 de façon à contrôler la propagation de l'ouverture de décollement.

Si plusieurs zones d'interface sont prévues pour la mise en contact avec les moyens de séparation, celles-ci peuvent être agencées de façon à amorcer le
25 décollement à un endroit déterminé de l'interface.

Lorsque les moyens de séparation comprennent des moyens exerçant une pression de fluide dans la zone d'interface et que ce fluide est liquide, ces moyens de séparation peuvent comprendre une
30 excitation par micro-ondes ou impulsionnelle du fluide liquide.

Les deux éléments peuvent être mis en adhérence l'un à l'autre avec une énergie d'adhérence variable en fonction des différentes régions de

l'interface de manière à amorcer le décollement à un endroit déterminé de l'interface.

De plus, les moyens de séparation peuvent être tels que le décollement des deux éléments à l'interface se produit en un ou plusieurs endroits de façon simultanée ou séquentielle.

L'invention concerne également un dispositif de décollement de deux éléments d'une structure, adhérant l'un à l'autre par des faces d'adhérence dont au moins l'une est pourvue de cavités dans une zone d'interface, de façon à pouvoir soumettre au moins l'une des faces d'adhérence à l'influence d'un fluide et éventuellement à une action mécanique, le dispositif comprenant une enceinte avec au moins une première chambre dite chambre de haute pression apte à recevoir le fluide et une deuxième chambre, dite chambre de basse pression, l'enceinte étant conformée de façon à recevoir les deux éléments adhérents de la structure de telle façon que les cavités communiquent avec la chambre de haute pression.

Ce dispositif peut comporter en outre des moyens formant butée à une déformation jugée excessive de l'un et/ou de l'autre élément de la structure lors de leur décollement.

Avantageusement, l'enceinte peut être équipée d'au moins un joint disposé entre un élément de la structure et la paroi de l'enceinte pour séparer la chambre de haute pression de la chambre de basse pression.

L'invention concerne encore une poignée de transfert d'objets tels que, par exemple, des puces électroniques. La poignée est pourvue d'une face d'adhérence présentant des cavités dans au moins une zone d'interface, sur laquelle les objets peuvent adhérer, la poignée étant en outre pourvue de moyens

d'accès aux zones d'interface afin d'en décoller les objets. Les objets sont de dimension diverses, de quelques micromètres à quelques dizaines de centimètres par exemple.

5 Les moyens d'accès sont, par exemple, des canaux ou tout autre type de dépression ou de perforation pratiqués dans la face d'adhérence.

La poignée peut comprendre une plaque dont une face constitue la face d'adhérence, la plaque étant percée de trous traversants aboutissant aux zones
10 d'interface et constituant lesdits moyens d'accès aux zones d'interface. Les trous traversants peuvent être des trous permettant le passage d'un outil de décollement des objets.

15 Avantageusement, les moyens d'accès aux zones d'interface permettent l'application d'une pression de fluide aux objets.

Un quatrième objectif de l'invention concerne un procédé de transfert localisé d'objets réalisés à la surface d'un premier substrat, et
20 présentant une face d'adhérence, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- mise en contact adhérent de la face d'adhérence des objets avec la face d'adhérence d'une poignée de transfert telle que décrite ci-dessus.
25

- éventuellement, amincissement du premier substrat à partir de la face libre de ce premier substrat,

- mise en contact adhérent d'au moins l'un desdits objets avec un substrat de réception, et
30

- décollement dudit objet de la poignée grâce aux moyens d'accès à la zone d'interface,

Le procédé peut être complété par la séparation de la poignée de transfert, qui peut
35 comporter des objets non encore transférés, et du

substrat de réception qui comporte les objets transférés.

Si les objets ne sont pas séparés les uns des autres, c'est-à-dire détournés avant la mise en contact adhérent avec le substrat de réception, le
5 procédé peut comprendre en outre une étape de détournage des objets de façon à autoriser leur transfert individuel.

10 **Brève description des dessins**

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre
15 d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1A représente, en coupe transversale, une première possibilité de réalisation d'un dispositif selon l'invention destiné au
20 décollement de deux éléments adhérent l'un à l'autre,

- les figures 1B et 1C sont des coupes schématiques partielles illustrant des variantes possibles pour la réalisation du dispositif de la figure 1A.

- la figure 2 représente, vu en coupe transversale, une deuxième possibilité de réalisation d'un dispositif selon l'invention destiné au
25 décollement de deux éléments adhérent l'un à l'autre,

- les figures 3A à 3C illustrent le déroulement du procédé de décollement de deux éléments adhérent l'un à l'autre, selon l'invention,
30

- les figures 4A à 4D illustrent l'application du procédé selon l'invention à l'obtention d'une membrane semi-conductrice dont les

faces principales reçoivent des traitements selon les techniques de la micro-électronique,

5 - les figures 5A à 5F illustrent le transfert d'une puce électronique d'un premier substrat vers un substrat de réception en utilisant le procédé selon la présente invention,

10 - les figures 6 à 12 illustrent schématiquement différentes possibilités de conformation d'une face d'adhérence d'un élément d'une structure, destinée à un décollement conforme à l'invention.

15 **Description détaillée de modes de réalisation de l'invention**

L'invention permet le décollement de deux éléments dont les surfaces d'adhérence peuvent adhérer par des moyens comme, par exemple, les colles (polymères, époxy...) ou le collage par adhérence moléculaire. L'invention s'applique particulièrement bien au cas où ces éléments sont des plaquettes et notamment au cas où l'une des plaquettes est une plaquette semi-conductrice dont les deux faces principales peuvent recevoir un traitement selon les techniques de la micro-électronique.

L'idée consiste à amener un moyen, notamment un fluide et/ou un outil mécanique, au niveau de l'interface de collage de façon à engendrer une action permettant de décoller tout ou partie des éléments en offrant le choix de pouvoir localiser la zone d'interface à décoller en premier lieu. L'introduction, par exemple, d'un fluide peut se faire, au niveau de l'interface, à l'aide d'une gravure réalisée préalablement au collage dans l'un des

éléments ou dans les deux. Des essais ont démontré qu'une telle gravure peut être effectuée sans gêner le collage. Pour permettre l'introduction d'un fluide, cette gravure doit communiquer avec l'extérieur. Elle
 5 peut être communicante en périphérie ou au travers de l'un des éléments. Ainsi, le décollement peut être amorcé au voisinage de la zone gravée.

La gravure peut être réalisée pour constituer, par exemple, un réseau de plots, un réseau
 10 de cavités traversantes ou non ou avoir une forme en colimaçon ou en anneaux ou encore en secteurs. Ces différentes possibilités sont illustrées par les figures 6 à 12 décrites plus loin.

L'introduction du fluide peut se faire à l'aide d'un adaptateur au niveau de la cavité réalisée
 15 par gravure ou bien en plaçant la structure formée des deux éléments collés dans une enceinte remplie du fluide dont la pression est contrôlée.

La figure 1A montre en coupe une première
 20 possibilité de réalisation d'un dispositif selon l'invention permettant le décollement de deux éléments. Dans l'exemple de la figure, les éléments sont deux plaquettes circulaires 1 et 2 collées l'une à l'autre selon une interface 3. Le dispositif comporte une
 25 enceinte étanche 4 de forme cylindrique et comportant une paroi inférieure 5 et une paroi supérieure 6. Des joints, par exemple toriques, 7 et 8 sont fixés respectivement sur les parois inférieure 5 et supérieure 6 et viennent en appui sur les faces
 30 principales des plaquettes. Le dispositif est dimensionné en fonction de la taille des plaquettes 1 et 2 à décoller. Le dispositif est raccordé latéralement à une conduite 9 d'amenée de fluide sur laquelle est montée une vanne 10.

Lorsque la structure composée des plaquettes 1 et 2 collées entre elles est installée dans le dispositif, l'enceinte 4 est partagée en plusieurs chambres : une chambre 11 dite chambre de haute pression, destinée à recevoir le fluide amené par la conduite 9, et deux chambres 12 et 13 situées respectivement au-dessus et au-dessous de la structure à décoller et appelées chambres de basse pression.

La pression que doit exercer le fluide pour engendrer le décollement dépend de l'énergie d'adhérence entre les plaquettes. Dans le cas d'une adhérence moléculaire, celle-ci est fixée en particulier par la préparation des surfaces avant collage ainsi que par le ou les traitements thermiques subis par la structure. Pour rester dans la limite de déformation élastique et ne pas déformer irrémédiablement les plaquettes, il est possible d'adapter la distance entre la structure collée et la surface intérieure de l'enceinte située en vis-à-vis des plaquettes. Des butées 14 et 15 fixées sur la surface intérieure de l'enceinte permettent de limiter les déformations induites dans les plaquettes et peuvent favoriser le décollement. La distance initiale entre butée et plaquette correspondante dépend notamment de l'épaisseur de la plaquette et de sa nature.

La figure 1A montre que la plaquette 2 comporte une gravure périphérique 16 permettant au fluide de parvenir sur une zone d'interface 17.

Les références 18, 19 désignent des conduites respectivement en communication avec les chambres de basse pression 12, 13 qui peuvent être prévues pour contrôler la pression d'un fluide se trouvant dans ces chambres. Les conduites 18, 19 peuvent être de simples événements, susceptibles d'être mis

en communication, par exemple avec la pression atmosphérique. Elles peuvent aussi être reliées à des moyens pour ajuster la pression d'un fluide, par exemple un gaz situé dans les chambres de basse pression, de façon à contrôler avec précision le décollement. La pression du fluide dans les chambres de basse pression est cependant maintenue à une valeur plus faible que la pression du fluide appliqué à la chambre de haute pression, pour autoriser le décollement.

La figure 1B montre, de façon partielle et à plus grande échelle, une autre possibilité de réalisation du dispositif de décollement constituant une variante par rapport à la figure 1A. Les parties identiques, similaires ou correspondantes à celle de la figure 1 sont repérées avec les mêmes références numériques et leur exposé n'est pas repris ici.

On observe sur la figure 1B que les joints, par exemple toriques, 7 et 8 ne sont plus fixés sur les parois supérieure et inférieure du dispositif mais sur les parois latérales qui sont en regard des tranches des plaquettes.

Les joints 7 et 8 viennent respectivement en appui sur les tranches des plaquettes à une distance suffisante de l'interface de collage pour ne pas entraver l'accès du fluide sous pression vers la gravure périphérique 16 et donc à la zone d'interface 17.

L'action du fluide sur les faces d'adhérence dans la zone d'interface est indiquée par des flèches. Des flèches indiquent également le décollement des plaquettes repoussées vers les chambres 12, 13 de basse pression.

La figure 1C montre, également de façon partielle et à plus grande échelle, encore une autre

possibilité de réalisation du dispositif de décollement, constituant une variante par rapport aux figures 1A et 1B. Les parties identiques ou similaires à celles des figures précédentes sont toujours indiquées avec les mêmes références.

On observe sur la figure 1C que les joints toriques ont été éliminés et remplacés par un joint à lèvres J. Le joint J assure l'étanchéité entre la paroi latérale du dispositif et les première et deuxième plaquettes. Il assure donc également l'étanchéité entre la chambre de haute pression 11 et les chambres de basse pression 12, 13.

Un passage P pratiqué dans le joint J permet au fluide sous pression d'accéder à la zone d'interface 17 des plaquettes 1, 2.

La figure 2 montre encore une autre possibilité de réalisation d'un dispositif selon l'invention permettant le décollement de deux plaquettes circulaires 21 et 22 collées l'une à l'autre selon une interface 23. Une conduite 29 d'amenée de fluide est connectée différemment de celle de la figure 1A. Elle débouche au centre de la paroi inférieure 25 de l'enceinte 24. Cette disposition partage l'enceinte 24 en une chambre de haute pression 35 et en deux chambres de basse pression : la chambre 31 et la chambre 32 et dans laquelle peut se déformer la plaquette 21.

La figure 2 montre que la plaquette 22 possède un trou central traversant 26 permettant au fluide de parvenir sur une zone d'interface 37. Le trou central peut être remplacé et/ou complété par d'autres trous traversant la plaquette (avec des diamètres identiques ou différents).

Les figures 3A à 3C illustrent un exemple du déroulement du procédé de décollement des plaquettes

1 et 2 de la figure 1. Au début de l'opération, le fluide est introduit et commence à exercer son action sur les parois de la cavité 16 et de la zone d'interface 17 comme le montrent les flèches sur la figure 3A. La figure 3B montre un exemple d'amorce du décollement entre les plaquettes 1 et 2 sous l'action de la pression de fluide et le rôle des butées 14, 15. La plaquette 1 dans cet exemple se déforme plus que la plaquette 2. Cet exemple se produit dans le cas d'une plaquette plus fine que l'autre. Ainsi, dans le cas d'applications en électronique de puissance, on peut, grâce à l'invention, réaliser et manipuler des membranes de quelques dizaines de micromètres. La figure 3C montre les plaquettes 1 et 2 totalement séparées.

Dans les cas représentés sur les figures 1 et 2, les plaquettes 1 et 21 sont par exemple des éléments ou membranes où des circuits peuvent être élaborés tandis que les plaquettes 2 et 22 sont des éléments réservés à l'opération de décollement. Les plaquettes 2 et 22 peuvent être désignées sous l'appellation de poignées de transfert. Ces poignées sont facilement réutilisables.

L'intérêt de situer la gravure dans la plaquette servant de poignée est que, en plus de localiser le décollement de la structure dans le plan horizontal, ceci permet de localiser l'interface dans le plan vertical de la structure. En effet, comme indiqué plus haut dans l'état de la technique antérieure, si des couches ont été déposées avant le collage des plaquettes (voir les couches figurées en traits mixtes sur la figure 1) et si ces couches ont une adhérence plus faible que l'interface de collage, seule cette localisation verticale permettra le décollement au niveau de l'interface de collage.

Pour accroître l'efficacité du fluide, il peut être intéressant, qu'en plus de l'action de pression, ce fluide puisse exercer une action chimique au niveau de l'interface, facilitant ainsi le
5 décollement. Pour une interface à base d'oxyde de silicium, on peut utiliser une solution formée de HF dilué dans de l'eau pour contrôler la vitesse de gravure. Si une face à décoller doit être préservée (face traitée par les techniques de la micro-
10 électronique par exemple), la partie à préserver peut être protégée par une couche d'arrêt (par exemple du silicium polycristallin) sur lequel l'oxyde d'interface est déposé ou formé.

En outre, dans le cas d'un fluide liquide,
15 le décollement peut être facilité, par exemple, par l'usage d'une excitation de type micro-ondes, impulsionnelle, etc...

Il peut être avantageux de préparer l'une des faces d'adhérence d'au moins l'une des plaquettes,
20 en partie ou dans sa totalité, pour que l'énergie de collage qui en résulte présente des variations dans le plan de l'interface de collage. On peut, par exemple, définir une zone centrale de l'interface où l'adhérence sera plus forte qu'en périphérie. Cette différence
25 d'énergie sera mise à profit pour induire le décollement ultérieur en localisant l'amorce du décollement en périphérie de la structure. De façon plus générale, cette technique peut être
avantageusement utilisée pour générer des zones
30 localisées où l'énergie de collage est différente de l'énergie de collage des autres zones.

Les figures 4A à 4D illustrent l'obtention d'une membrane, par exemple en matériau semi-conducteur, dont les faces principales sont traitées
35 selon les techniques de la micro-électronique.

L'objectif est d'obtenir une membrane d'environ, par exemple, 100 μm d'épaisseur, traitée sur ses deux faces à partir d'une plaquette de silicium standard de 4 pouces et de 525 μm d'épaisseur. Cette plaquette va
5 devoir subir différentes opérations, par exemple des recuits thermiques (typiquement à 1100°C), des traitements mécaniques (polissage, rectification), des traitements chimiques (gravure sèche ou humide), des dépôts (oxydes ou métaux), des implantations.

10 Ces différentes opérations impliquent des manipulations de la membrane, ce qui est problématique lorsque son épaisseur est de l'ordre de 100 μm ou moins. L'invention permet de remédier à ce problème.

15 La figure 4A montre une plaquette de silicium 40 destinée à fournir une membrane. La plaquette est représentée avec l'une de ses faces principales, la face 41, qui a déjà subi des traitements selon les techniques de la micro-
20 électronique et qui a reçu, par exemple, une couche d'oxyde d'encapsulation. La couche d'oxyde est éventuellement polie pour présenter une surface plane.

La figure 4B montre la plaquette 40 (en position retournée par rapport à la figure 4A) mise en contact par sa face 41 avec la face 48 d'une plaquette
25 49. La plaquette 49 est avantageusement une plaquette de silicium oxydé. On peut ainsi obtenir un collage par adhérence moléculaire hydrophile $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$. L'énergie du collage peut être contrôlée en agissant sur le caractère plus ou moins hydrophile ou plus ou moins
30 rugueux des surfaces. Il est alors possible de réaliser des opérations selon les techniques de la micro-électronique à partir de l'autre face principale, la face 42, de la plaquette 40 en toute sécurité d'un point de vue mécanique pour obtenir finalement une
35 membrane traitée sur ses deux faces.

Comme indiqué ci-dessus, pour obtenir l'adhérence moléculaire désirée, on peut jouer sur le caractère hydrophile et/ou sur la rugosité selon des techniques classiques. En combinant les deux méthodes, on peut obtenir, après recuit à 1100°C, une énergie de collage de l'ordre de 500 mJ/m² pour une structure SiO₂/SiO₂ dont les rugosités de surface sont typiquement de 0,6 nm RMS (valeur quadratique moyenne). Cette valeur est largement inférieure à celle (2 J/m²) obtenue pour un collage de plaquettes dont la rugosité de surface est de l'ordre de 0,2 nm. Avec cette valeur d'énergie de collage, le procédé de l'invention permet de décoller la plaquette 40 de la plaquette 49 et d'obtenir finalement une fine membrane ayant subi au moins un traitement sur au moins l'une de ses faces avec un risque minimal de détérioration.

A titre d'exemple encore, cette technique peut être avantageusement utilisée pour générer des zones localisées dont l'énergie de collage est différente de l'énergie de collage du reste de la structure. La variation d'énergie de collage, en différentes zones, pourra être obtenue par une technique utilisant un masquage partiel d'au moins une des surfaces en contact dans le collage. Par exemple, il est possible de générer des rugosités de surface différentes dans les zones masquées et non masquées par une attaque chimique, une gravure sèche, une implantation ionique...

Avantageusement, la rugosité peut être contrôlée de façon à induire l'énergie de collage la plus faible dans la (les) zone(s) choisie(s) pour l'amorce du décollement.

La plaquette 49 (voir la figure 4B) présente une partie gravée 47 formant un exemple de cavité de type encoche, ce qui donne accès à une zone

d'interface 43 sur laquelle peut s'exercer une pression de fluide.

La figure 4C montre la structure obtenue successivement par rectification et éventuellement polissage de la plaquette 40 afin de transformer cette
5 plaquette en membrane 44.

La face libre 45 de la membrane 44 peut alors être traitée par les techniques de la micro-électronique. On obtient une membrane traitée sur ses
10 deux faces (voir la figure 4D), qui sera décollée de la plaquette 49 conformément à l'invention.

Dans les traitements envisageables on peut faire des dépôts de couches, des gravures, voire même reporter une autre structure sur la membrane notamment
15 pour la rigidifier.

Pour certaines applications, par exemple, en opto-électronique, il apparaît intéressant de pouvoir associer une puce ou un composant opto-électronique réalisé par exemple sur un matériau III-V
20 avec un circuit électronique par exemple réalisé sur du silicium. Dans ce cas, pour réaliser un tel objet, une voie consiste à venir reporter la puce en matériau III-V sur une plaquette entière contenant les circuits. Le report sur une plaquette entière permet la réalisation
25 d'étapes technologiques postérieures au report. A titre d'exemple, on peut citer, parmi les opérations postérieures au report, celles permettant de réaliser les contacts entre par exemple la puce et le circuit. L'invention permet le transfert de puces électroniques
30 sur des plaquettes entières. Elle offre l'avantage de permettre l'amincissement des puces.

Les figures 5A à 5F illustrent le transfert d'une puce électronique d'un premier substrat vers un substrat de réception.

La figure 5A montre une plaquette 50 dont l'une des faces principales, la face 51, a été traitée pour réaliser des puces 52 individualisées. Les puces peuvent être, par exemple, des composants électroniques ou opto-électroniques. Le matériau de la plaquette 50 peut être du type III-V ou du GaAs. La surface des puces peut être de l'ordre de $250\text{ }\mu\text{m} \times 250\text{ }\mu\text{m}$.

La figure 5B montre la solidarisation de la plaquette 50, côté puces, avec une plaquette poignée 53. La solidarisation peut être réalisée par une mise en contact des deux plaquettes avec un collage par adhérence moléculaire ou à l'aide d'une couche intermédiaire de colle ou de résine. La solidarisation est réalisée avec une énergie de collage contrôlée. Par exemple, dans le cas d'un collage moléculaire, cette énergie peut être choisie par le contrôle de la rugosité de surface et/ou de l'hydrophilie et/ou du pourcentage de la surface en contact.

Dans le cas où l'on veut transférer des puces, la plaquette poignée 53 est réalisée de telle sorte que des trous 54 la traversent pour autoriser la communication entre les deux faces principales de la poignée 53 collée aux puces. La taille et le pas des trous sont adaptés à la taille et au pas des puces. Dans cet exemple, le pas des puces est de l'ordre de $250\text{ }\mu\text{m}$. Le diamètre des trous doit être adapté au pas et à la technique de décollement. Dans le cas de l'utilisation d'un outil, par exemple, du genre pointeau, il exerce une action mécanique. Dans le cas de l'utilisation d'un fluide de décollement, la dimension des trous peut être très faible, inférieure ou égale à la dimension des puces. Dans le cas où les puces sont plus grandes, par exemple $500\text{ }\mu\text{m} \times 500\text{ }\mu\text{m}$, la dimension du trou peut être par exemple de $200\text{ }\mu\text{m}$. L'utilisation d'un pointeau est alors facilitée.

Suivant la dimension de l'élément à transférer, un ou plusieurs pointeaux peuvent être utilisés. L'extrémité du pointeau peut être pointue, plate ou conique. Le pointeau peut être par ailleurs percé en son extrémité, par exemple pour amener le fluide. Une combinaison du fluide et de l'outil peut être avantageusement envisagée.

La figure 5C représente la structure obtenue après amincissement de la plaquette 50 jusqu'à l'épaisseur désirée et séparation des puces 52 entre elles. Si des composants opto-électroniques sont réalisés sur une couche de GaAs, ils peuvent avoir une épaisseur de l'ordre de 10 μm . La séparation des puces entre elles peut être réalisée par gravure ou plus simplement à l'aide d'une scie de découpe.

La structure amincie est mise en contact avec une plaquette de réception 55 (voir la figure 5D).

Comme indiqué par une flèche sur la figure 5E, une puce 52 par exemple peut être décollée de la plaquette poignée 53 par l'intermédiaire d'un outil et/ou d'un fluide de transfert.

L'emplacement de la puce 52 à transférer ayant été préparé sur la face 56 de la plaquette de réception 55, l'écartement des plaquettes 53 et 55 laisse la puce décollée de la plaquette 53 sur la plaquette 55 tandis que les autres puces restent sur la plaquette 53.

Ce procédé trouve également un intérêt pour le transfert de circuits minces pour les applications cartes à puces ou "tickets jetables".

La présente invention présente de nombreux avantages. Tout d'abord, elle peut permettre de travailler sur les deux faces d'une plaquette, par exemple de silicium, sans risque de détérioration. Il est ainsi possible de traiter une première face d'une

plaquette en protégeant la deuxième face, par adhérence à un support. Ensuite, la face traitée peut être elle même protégée par adhérence à un autre support pendant que l'autre face, après décollement, est traitée à son tour. Cette invention peut aussi faciliter l'utilisation de plaques fines, également appelée membranes (inférieures à 300 μm d'épaisseur pour un diamètre de 100 mm). On rencontre, par exemple, de plus en plus ce type de plaques dans des applications de micro-électronique, comme par exemple en électronique de puissance. L'avantage de ce genre de plaques est de pouvoir y réaliser des structures en limitant, du fait de leur faible épaisseur, les problèmes d'échauffement thermiques ou de courant de fuite lors de l'utilisation. En contrepartie, ces plaques sont le lieu de fortes contraintes, lors de l'utilisation, à cause des traitements thermiques qu'elles subissent et de leur faible épaisseur. Il est, par exemple, très risqué de passer ce genre de plaques dans des fours car elles ont tendance à se déformer et même dans les cas extrêmes à se casser du fait de la température de procédé et des contraintes générées par les traitements thermiques. De plus, ces plaques ne sont pas toujours compatibles avec les équipements utilisés en micro-électronique, car ceux-ci sont souvent étalonnés pour recevoir des plaques d'épaisseur standard (par exemple 525 μm pour des plaques de silicium d'un diamètre de 100 mm). Enfin, le transport et la manipulation de ce type de plaquettes très minces doivent être limités car les risques de cassure sont bien plus grands que pour des plaquettes standard. Pour remédier à ces problèmes, l'adhérence d'une plaquette fine à une plaquette support permet la rigidification de la plaquette fine pour lui conférer les propriétés mécaniques d'une plaquette épaisse pendant les différentes étapes de

traitement. La dissociation des plaquettes peut intervenir en cours ou en fin de procédé.

5 Toutes les méthodes décrites ci-dessus peuvent s'appliquer aussi bien pour le décollement d'éléments de grandes dimensions (par exemple des plaquettes entières de plusieurs centimètres de diamètre) que pour le décollement d'éléments de petites dimensions (par exemple de plusieurs dizaines de micromètres de large).

10 Les figures 6 à 12 décrites ci-après représentent de façon très schématique différents exemples de possibilités de réalisation des éléments d'une structure, conçus pour un décollement conforme à l'invention. Ces éléments sont par exemple des poignées
15 telles que décrites précédemment. Sur toutes ces figures, des références identiques désignent des parties identiques ou similaires.

20 Il convient de préciser que les exemples illustrés par les figures 6 à 12 ne sont pas exhaustifs et que les différentes possibilités de réalisation de cavités que montrent ces figures peuvent être combinées entre elles.

25 La référence 100 désigne de façon générale le corps de l'élément ou poignée qui, dans les exemples illustrés, se représente comme une plaquette circulaire. On définit également une face 102 de l'élément qui correspond à la face d'adhérence, destinée à être mise en contact adhérent avec un autre élément conjugué pour former une structure. C'est aussi
30 selon le plan de la face d'adhérence 102 que les deux éléments de la structure doivent être séparés ultérieurement.

35 La figure 6 montre un premier exemple où des cavités 104a se présentent comme des trous traversant de part en part l'élément 100 pour relier la

face d'adhérence à une face opposée. Les trous peuvent présenter différents diamètres et différentes formes. Ils définissent sur la face d'adhérence une zone d'interface permettant un décollement localisé préférentiel. On observe par ailleurs que les trous sont pratiqués dans une région plus ou moins centrale de l'élément.

L'utilisation d'un élément 200 conforme à la figure 6 a été illustrée précédemment en référence à la figure 2.

La figure 7 montre un élément 100 présentant une unique cavité 104b, non traversante, sous la forme d'une encoche pratiquée à la périphérie de l'élément. La cavité 104b correspond à l'encoche 16 de la plaquette 2 représentée sur les figures 1A à 1C.

La figure 8 montre un élément 100 avec une face d'adhérence dans laquelle de larges canaux 104c sont gravés de façon à entourer et délimiter des îlots 108. Les canaux 104c permettent l'application d'un fluide sous pression, mais constituent également des cavités au sens de l'invention.

La figure 9 montre un élément 100 avec une face d'adhérence 102 dans laquelle une pluralité de cavités 104d non traversantes sont pratiquées pour former un réseau de cavités. Les cavités sont reliées entre elles par des canaux 104e qui débouchent à la périphérie de l'élément 100. Les canaux 104e constituent également des moyens d'accès à la zone d'interface comportant les cavités 104d.

La figure 10 montre un élément 100 dont la face d'adhérence 102 est divisée en secteurs par des canaux 104e s'étendant selon des rayons. Les secteurs peuvent eux-mêmes être parcourus par des canaux 104f selon un motif d'entretroisement.

Selon une variante, représentée à la figure 11, des canaux peuvent aussi se présenter comme des canaux circulaires concentriques 104g, communiquant par un canal radial 104h.

5 Selon encore une autre possibilité, représentée à la figure 12, un canal circulaire en colimaçon 104i peut s'étendre depuis le centre jusqu'à la périphérie de la face d'adhérence 102.

10 Les canaux 104e, 104f, 104g, 104h et 104i des figures 10 à 12 permettent l'accès d'un fluide et/ou d'un outil de décollement mais constituent également des cavités au sens de l'invention. Ils définissent donc des zones d'interface permettant un décollement localisé privilégié.

15 La zone d'interface est déterminée de façon générale par l'emplacement et/ou la répartition des canaux sur la face d'adhérence de l'élément.

20 Cette répartition permet également de contrôler précisément l'adhérence de l'élément avec un élément conjugué et leur décollement ultérieur. Une zone avec une forte densité de canaux permet en effet un décollement plus aisé qu'une zone avec une plus faible densité de canaux.

25 A titre d'exemple, pour un canal en colimaçon, tel que représenté à la figure 12, la facilité de décollement dépend de l'écartement entre les spires. Le décollement aura donc tendance à s'amorcer au centre de l'élément et se propager de façon sensiblement concentrique vers la périphérie.

30 Ceci est le cas également avec les exemples des figures 10 et 11.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de décollement de deux éléments (1, 2) d'une structure mis en contact adhérent l'un à l'autre par des faces d'adhérence respectives, le
5 procédé comportant, avant la mise en contact adhérent, la réalisation dans au moins une zone (17), dite zone d'interface, d'au moins une cavité, la cavité étant pratiquée dans au moins un des éléments et débouchant
10 respectivement sur la face d'adhérence de l'autre des éléments lorsque les éléments sont assemblés, de façon à permettre le passage dans la cavité de moyens de séparation, le procédé comportant en outre lors du décollement une étape d'application d'une force, de façon localisée dans ladite zone d'interface (17), par
15 la mise en contact, dans la zone d'interface, de l'une et/ou l'autre desdites faces avec lesdits moyens de séparation pour amorcer le décollement des deux éléments dans la zone d'interface et pour le poursuivre, éventuellement, jusqu'à la séparation
20 complète des deux éléments.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on provoque le décollement des éléments dans une ou plusieurs zones d'interface, de façon simultanée ou séquentielle.

25 3. Procédé de décollement selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de séparation comprennent des moyens exerçant une action mécanique sur la zone d'interface.

30 4. Procédé de décollement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens de séparation comprennent des moyens exerçant une pression de fluide sur la zone d'interface.

35 5. Procédé de décollement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce

que les moyens de séparation comprennent des moyens exerçant une action chimique sur au moins l'une des faces d'adhérence.

5 6. Procédé de décollement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les cavités sont obtenues par gravure.

10 7. Procédé de décollement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les cavités (16) sont réalisées à la périphérie d'au moins un élément, au niveau de l'interface d'adhérence.

15 8. Procédé de décollement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les cavités (26) sont réalisées dans une région intérieure d'au moins un élément, au niveau de l'interface.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'au moins une cavité traverse au moins un élément de part en part.

20 10. Procédé de décollement selon la revendication 1, caractérisé en ce que, plusieurs zones d'interface étant prévues, celles-ci sont agencées de façon à amorcer le décollement à des endroits déterminés de l'interface.

25 11. Procédé de décollement selon la revendication 3, caractérisé en ce que, le fluide étant un fluide liquide, les moyens de séparation comprennent une excitation par micro-ondes du fluide liquide.

30 12. Procédé de décollement selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deux éléments adhèrent l'un à l'autre avec une énergie d'adhérence différente dans des différentes régions d'une interface d'adhérence entre les éléments, de manière à amorcer le décollement à un endroit déterminé
35 de l'interface d'adhérence.

13. Dispositif de décollement de deux éléments d'une structure, adhérant l'un à l'autre par des faces d'adhérence dont au moins l'une est pourvue de cavités dans une zone d'interface de façon à pouvoir soumettre au moins l'une des faces d'adhérence à l'influence d'un fluide et éventuellement à une action mécanique, le dispositif comprenant une enceinte avec au moins une première chambre (11, 35), dite chambre de haute pression, apte à recevoir le fluide et au moins une deuxième chambre (12, 13, 31, 32), dite chambre de basse pression, l'enceinte étant conformée de façon à recevoir les deux éléments adhérents de telle façon que les cavités communiquent avec la chambre de haute pression.

14. Dispositif de décollement selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens formant butée (14,15;34) à une déformation jugée excessive de l'un et/ou de l'autre élément de la structure lors de leur décollement.

15. Dispositif de décollement selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que les moyens de maintien de la structure comprennent au moins un joint (7,8;27,28) disposé entre un élément de la structure et une paroi de l'enceinte (4,24).

16. Dispositif de décollement selon la revendication 15, dans lequel au moins un joint est disposé entre une face principale d'au moins un élément sous forme de plaquette et une paroi de l'enceinte en regard de la face principale.

17. Dispositif de décollement selon la revendication 15, dans lequel au moins un joint est disposé entre la tranche d'au moins un élément sous forme de plaquette et une paroi de l'enceinte en regard de la tranche.

18. Poignée de transfert d'objets dans lequel la poignée est pourvue d'une face d'adhérence présentant des cavités dans au moins des zones d'interface, et sur laquelle les objets peuvent adhérer, la poignée étant en outre pourvue de moyens d'accès aux zones d'interface afin d'en décoller les objets.

19. Poignée de transfert selon la revendication 18, caractérisée en ce qu'elle comprend une plaque dont une face constitue la face d'adhérence, la plaque étant percée de trous traversants (54) aboutissant aux zones d'interface et constituant lesdits moyens d'accès aux zones d'interface.

20. Poignée de transfert selon la revendication 19, caractérisée en ce que les trous traversants (54) sont des trous permettant le passage d'un outil de décollement des objets.

21. Poignée de transfert selon l'une quelconque des revendications 18 à 21, caractérisée en ce que les moyens d'accès aux zones d'interface sont des canaux d'application d'un fluide sous pression (104c, 140e, 140f, 104g, 104h, 104i).

22. Poignée de transfert selon la revendication 21, comprenant des canaux d'application d'un fluide pratiqués dans la face d'adhérence et conformés selon un motif en cercles concentriques, un motif en colimaçon, un motif radial, ou un motif d'entretroisement entre des secteurs de la face d'adhérence.

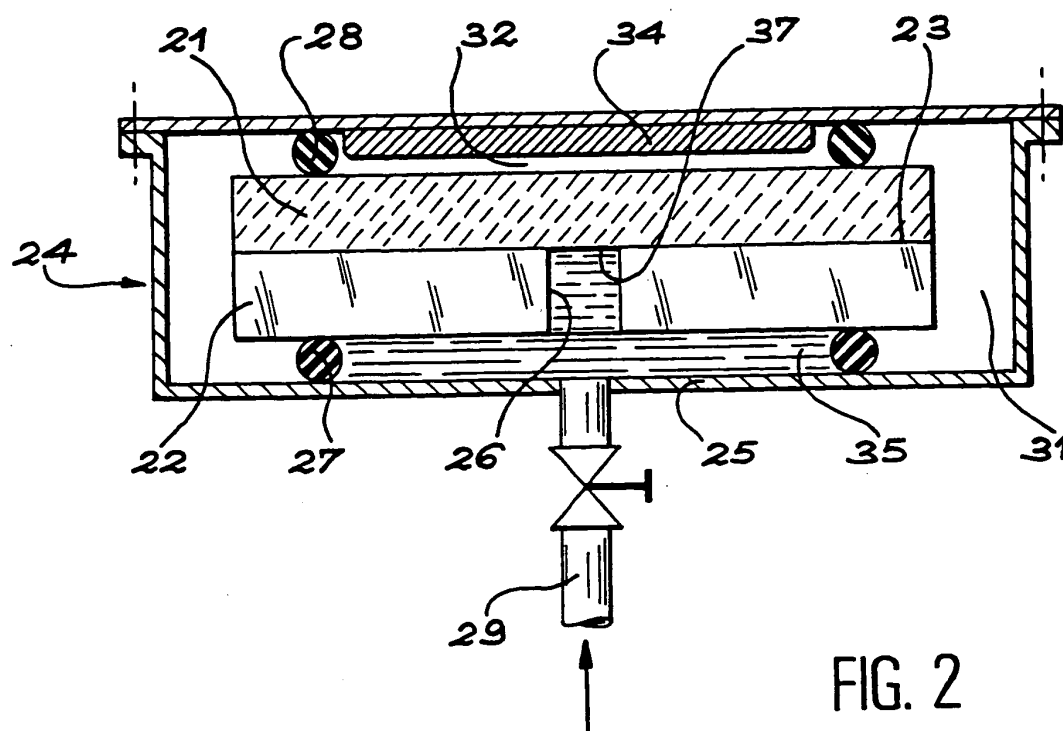
23. Poignée de transfert selon la revendication 21, dans laquelle les canaux constituent des cavités et/ou relient des cavités (104d) pratiquées dans la face d'adhérence.

24. Procédé de transfert d'objets réalisés à la surface d'un premier substrat (50), les objets

étant pourvus d'une face d'adhérence, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- 5 - mise en contact adhérent de la face d'adhérence (51) des objets (52) avec la face d'adhérence d'une poignée de transfert (53) selon l'une quelconque des revendications 18 à 21,
- éventuellement, amincissement du premier substrat (50) à partir de la face libre de ce premier substrat,
- 10 - mise en contact adhérent d'au moins l'un desdits objets (52) avec un substrat de réception (55),
- décollement dudit objet de la poignée, et
- séparation de la poignée de transfert (53) et du substrat de réception (55).

15



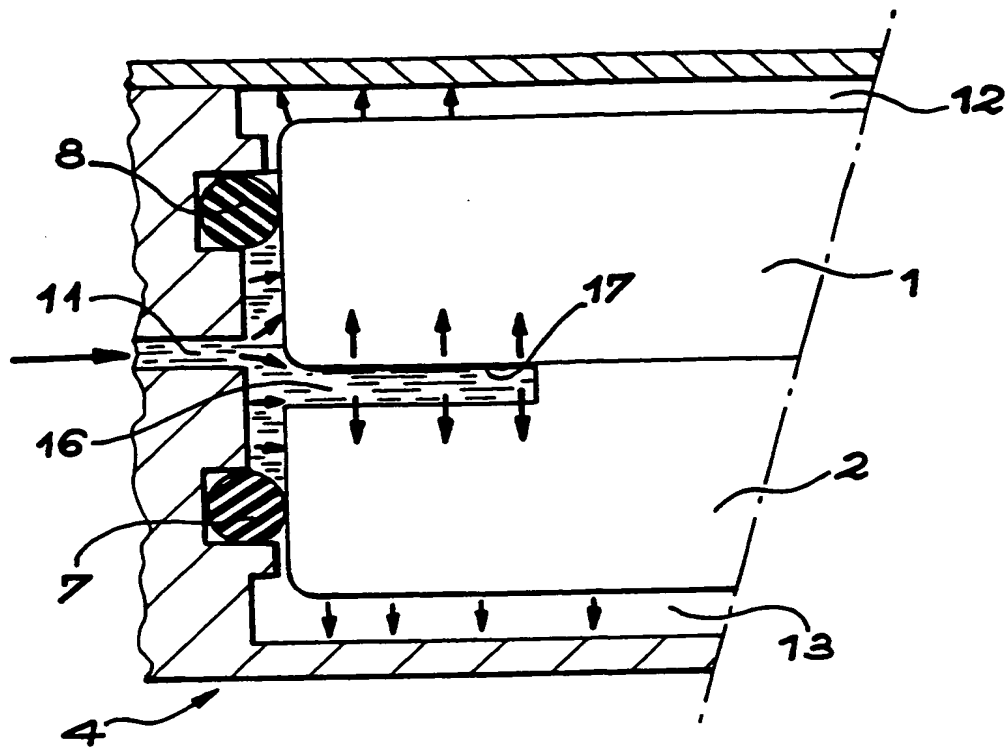


FIG. 1B

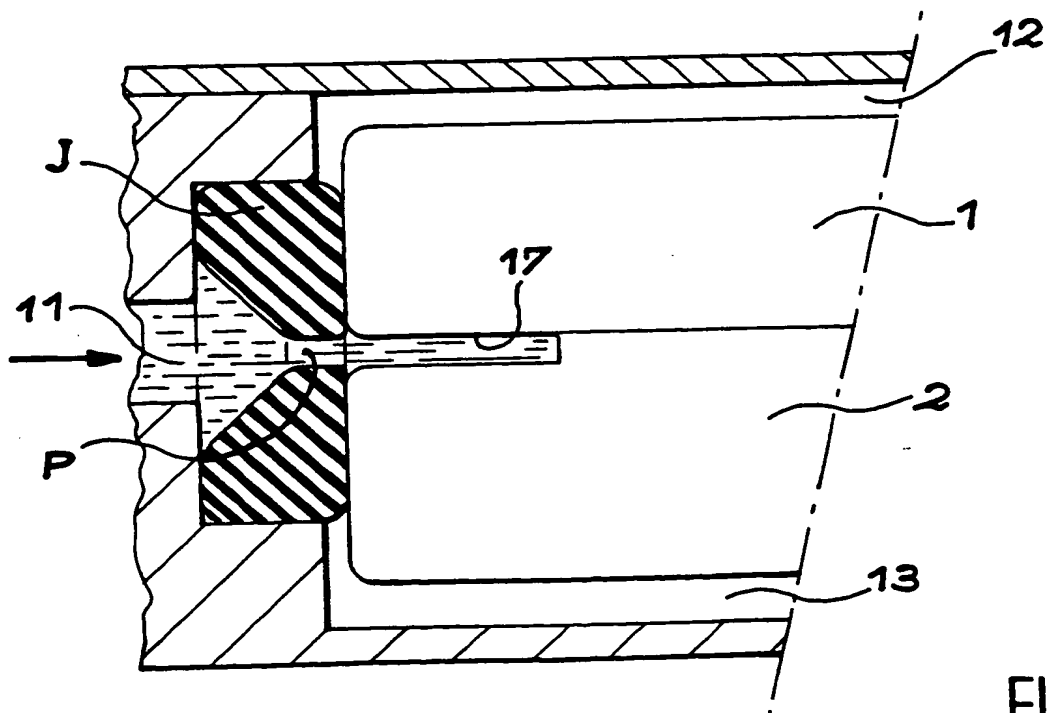


FIG. 1C

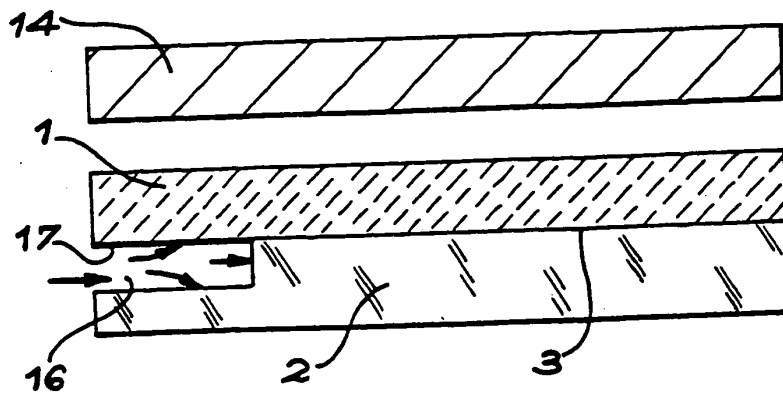


FIG. 3A

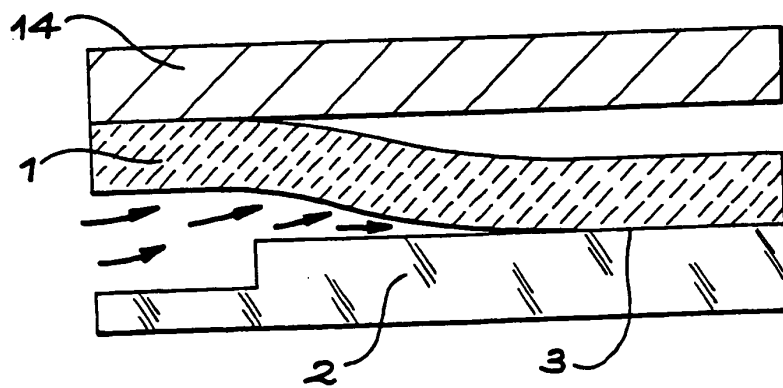


FIG. 3B

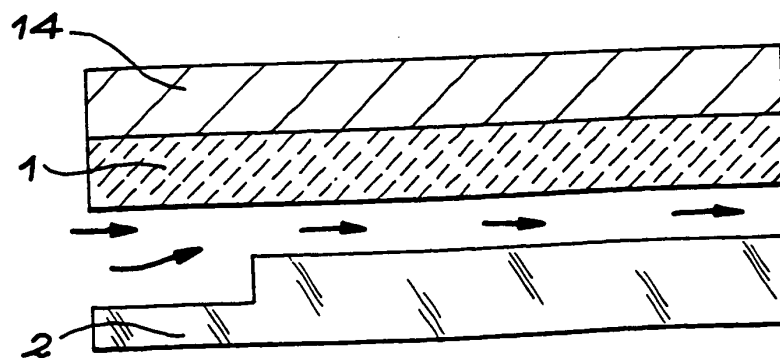


FIG. 3C

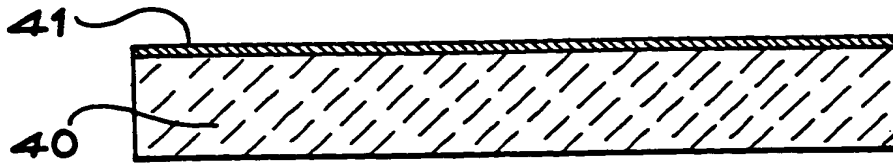


FIG. 4 A

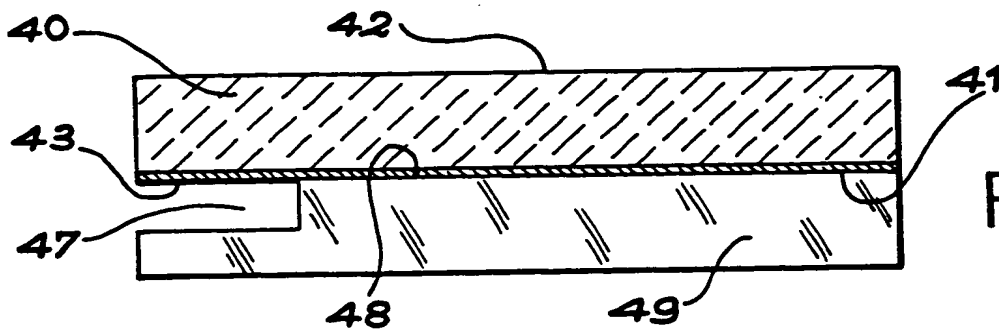


FIG. 4 B

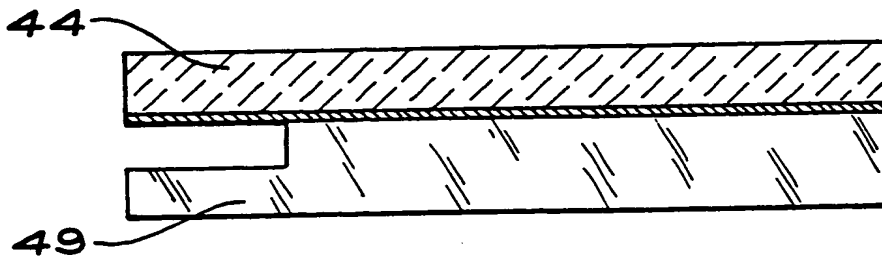


FIG. 4 C

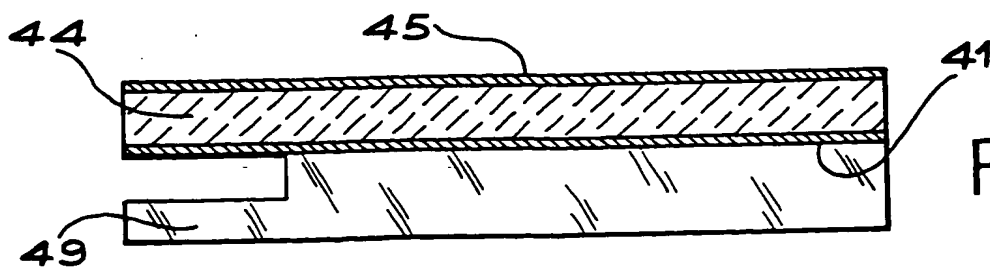


FIG. 4 D

5/7

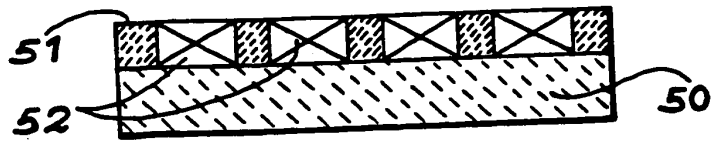


FIG. 5 A

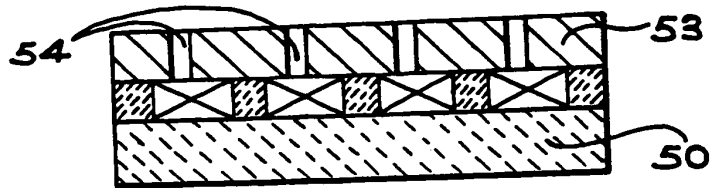


FIG. 5 B

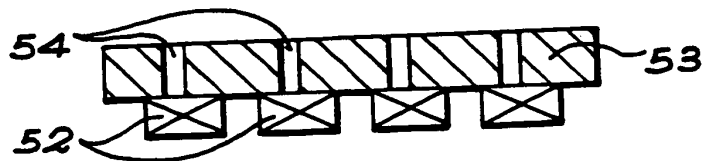


FIG. 5 C

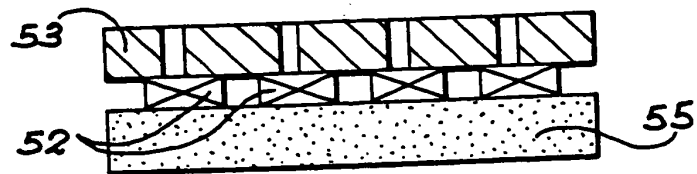


FIG. 5 D

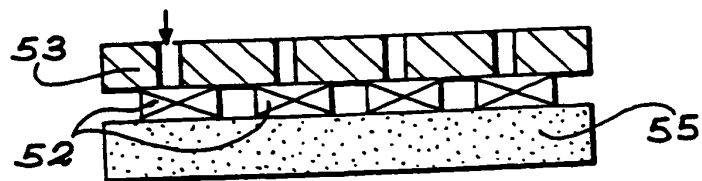


FIG. 5 E

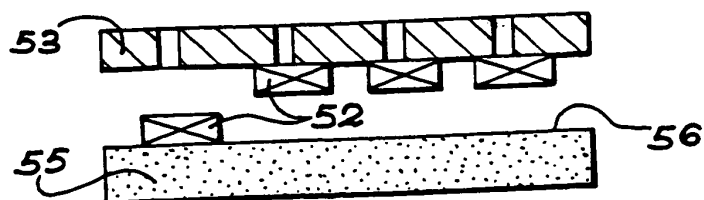


FIG. 5 F

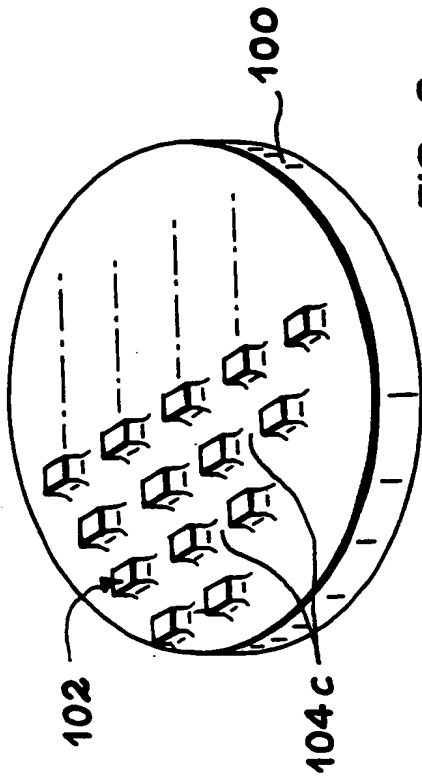


FIG. 8

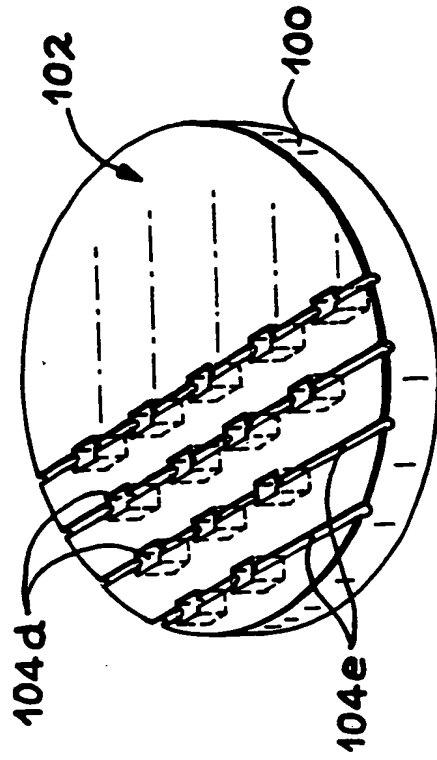


FIG. 9

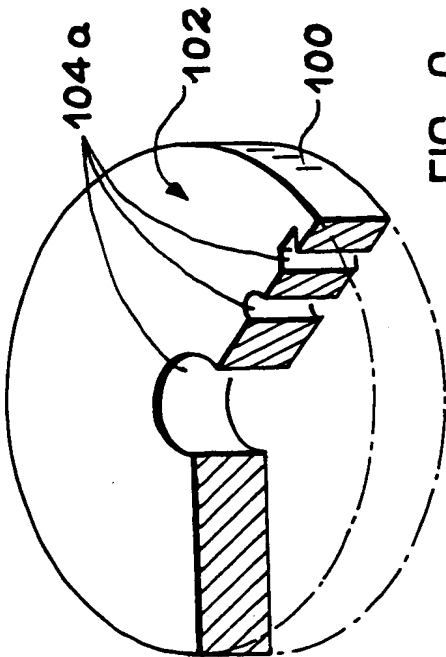


FIG. 6

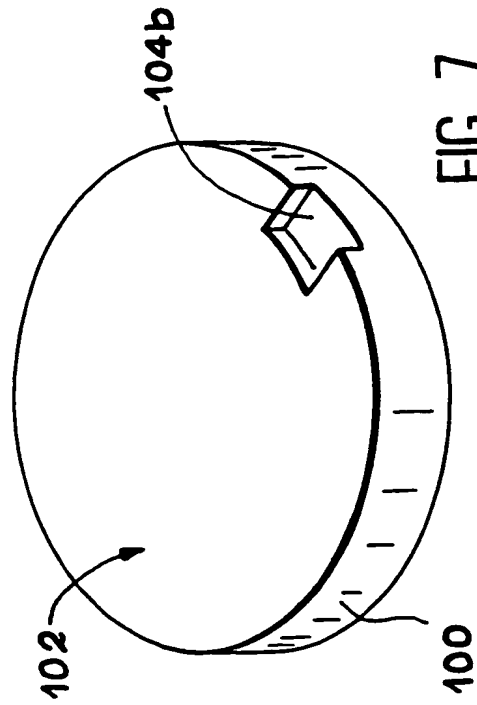


FIG. 7

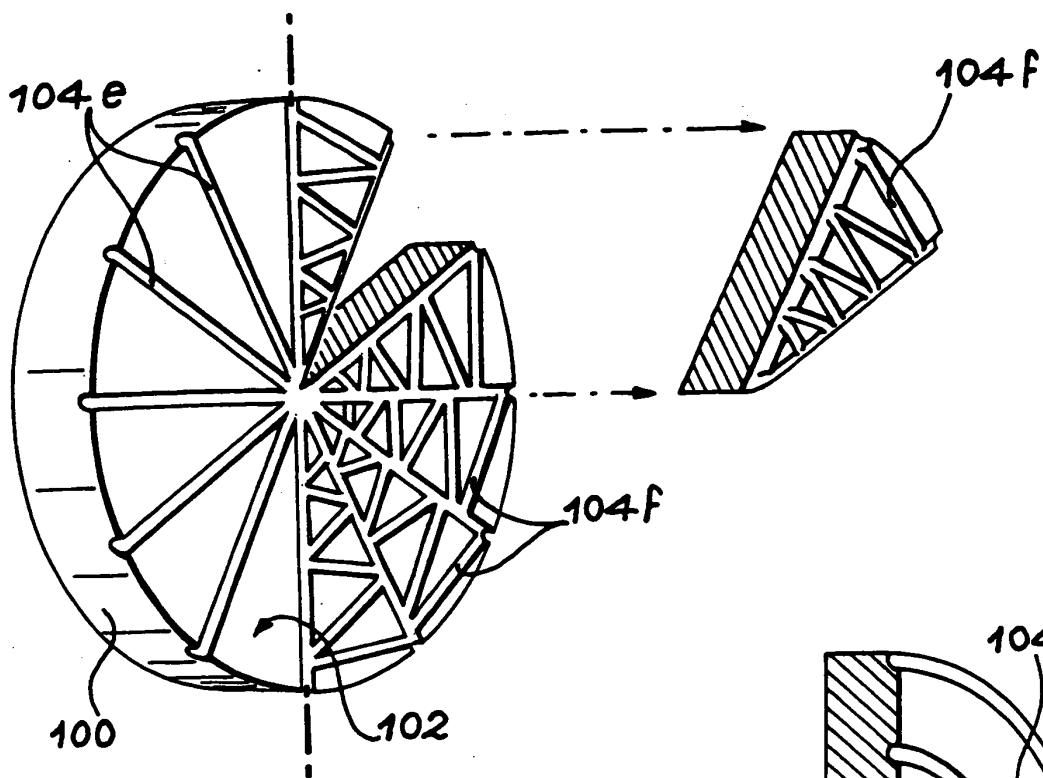


FIG. 10

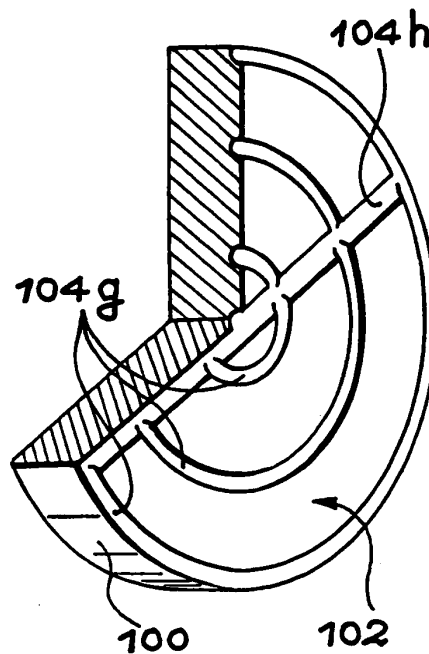


FIG. 11

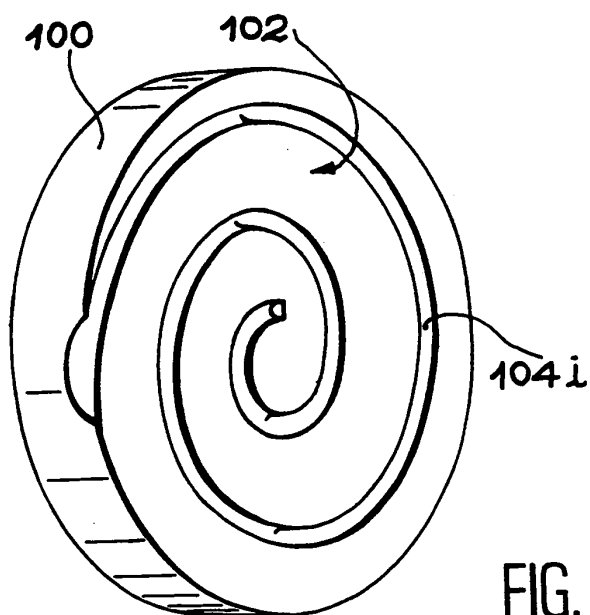


FIG. 12

THIS PAGE BLANK (USPTO)